РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 551.435 (470.51)

И.И. Рысин[1], И.И. Григорьев[2], М.Ю. Зайцева[3], В.Н. Голосов[4]

ЛИНЕЙНЫЙ ПРИРОСТ ОВРАГОВ ВЯТСКО-КАМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ НА РУБЕЖЕ XX И XXI СТОЛЕТИЙ

Приводятся результаты длительного мониторинга (период 1978–2015 гг.) линейного прироста вершин оврагов в Удмуртской Республике. В сеть мониторинга входят 168 вершин оврагов. Все они расположены в наиболее сельскохозяйственно освоенных частях Вятско-Камского междуречья. Основное внимание уделено динамике овражной эрозии в период 1997–2015 гг., который характеризуется существенными изменениями климата и землепользования. Установлено, что темпы регрессивного отступания вершин оврагов постепенно уменьшались в период 1997–2003 гг., с последующей стабилизацией на достаточно низком уровне (0,2–0,3 м/год). В результате в 1997–2015 гг. среднегодовые темпы прироста оврагов сократились в 3–5 раз для различных типов оврагов по сравнению с темпами прироста в предшествующий период наблюдений (1978–1997 гг.). Некоторые различия выявлены в темпах прироста первичных и вторичных оврагов. Среднегодовые темпы прироста донных оврагов составили 0, 55 м/год, тогда как прирост различного типа первичных оврагов составил 0,31, 0,22 и 0,16 м/год соответственно. Кроме того, отчетливый положительный тренд темпов прироста донных оврагов выявлен для периода после 2008 г., что привело к увеличению средних темпов прироста в 2015 г. до 0,8 м/год. Литология пород, на которых происходит прирост вершин оврагов, практически не влияет на линейные темпы прироста оврагов.

Ключевые слова: темпы прироста вершин оврагов, вторичные и первичные овраги, изменения климата и землепользования, Удмуртская Республика

Введение. Темпы линейного прироста оврагов являются одним из надежных индикаторов влияния климатических изменений и трансформации землепользования на изменения стока воды со склонов и интенсивность перераспределения наносов во флювиальной сети. В антропоцене, продолжительность которого оценивается разными исследователями от 3 до 5 тысяч лет, зафиксированные периоды интенсивного оврагообразования повсеместно были связаны с экстремальными климатическими изменениями или резким усилением антропогенного пресса [Соболев, 1948; Nyssen et al., 2004; Dotterweich, 2008; Notebaert & Verstraeten, 2010; Bork et al.,1998]. В равной степени выявляемые тренды постепенного усиления или ослабления роста овражных форм на конкретной территории свидетельствуют об увеличении или ослаблении поверхностного стока со склоновых водосборов и расходов воды во временных водотоках, формирующихся в днищах суходольной сети [Trimble, 1974; Verstraeten et al., 2009]. В пределах Восточно-Европейской равнины этапы усиления овражной эрозии в первой половине XIX века были обусловлены как климатическими изменениями, связанными с понижением зимних температур, увеличением глубины промерзания почвы и, как следствие, увеличением коэффициента поверхностного стока, так и одновременным расширением площадей пахотных земель, особенно в лесостепной зоне [Golosov, Panin, 2006]. Динамика овражных форм в различных регионах европейской территории России изучалась многими исследователями. Наиболее ранние сведения о росте оврагов содержаться в работах Э.Э. Керн [1894], В.И. Масальского [1897]. Обобщенные исследования по оврагам Среднерусской возвышенности сделаны М.В. Проничевой [1955]. Вопросам динамики оврагов большое внимание уделялось А.С. Козменко [1954], Б.Ф. Косовым [1971, 1981], А.Г. Рожковым [1981], С.С. Соболевым [1948], и многими другими исследователями [Коротина, 1981; Миронова, Сетунская, 1974; Назаров, 1992; Скоморохов, 1981].

Постановка проблемы. На рубеже XX и XXI веков в связи с распадом СССР произошли значительные изменения в землепользовании, особенно сильно затронувшие лесную и север лесостепной зоны, где были заброшены значительные площади пашни [Литвин с соавт., 2012]. Эти изменения по времени совпали с глобальным потеплением, которое наиболее заметно усилилось в последнее десятилетие XX и в начале XXI веков. Каким же обра-

[1] Казанский федеральный университет, Институт экологии и природопользования, ведущ. науч. с. и Удмуртский государственный университет, Институт естественных наук, проф., докт. геогр. н.; *e-mail*: rysin.iwan@yandex.ru

[2] Удмуртский государственный университет, Институт естественных наук, старший преподаватель; *e-mail*: ivangrig@yandex.ru

[3] Удмуртский государственный университет, Институт естественных наук, аспирантка; *e-mail*: zaytseva_geo@mail.ru

[4] Казанский федеральный университет, Институт экологии и природопользования, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов, ведущ. науч. с.; *e-mail*: gollossov@gmail.com

зом данные изменения повлияли на темпы линейного прироста оврагов? Есть ли различия в темпах роста первичных и вторичных оврагов? Могут ли те и другие в равной мере служить индикаторами изменений коэффициента поверхностного стока в период весеннего снеготаяния? Ответы на эти вопросы можно получить на основе длительных мониторинговых наблюдений за линейным приростом оврагов различных типов [Болысов,1987; Рысин, 1998; Ionita, 2006].

Многочисленные исследования свидетельствуют, что интенсивность роста оврагов в значительной степени определяется климатическими условиями [География …, 2006; Овражная эрозия, 1989; Овражная эрозия востока Русской равнины, 1990; Рысин, Григорьев, 2010; Рысин, 1998]. Предшествующие исследования показали, что на востоке Русской равнины 70–80% годового прироста оврагов приходится на весенний период; при этом выявлена ведущая роль таких метеорологических факторов, как интенсивность снеготаяния и запасы воды в снеге [Овражная …, 1990]. Результаты 20-летних мониторинговых наблюдений за линейным приростом оврагов на Вятско-Камском междуречье (1978–1997 гг.) в целом подтвердили указанные зависимости, но вместе с тем были выявлены и некоторые региональные особенности [Овражная …, 1990; Рысин, 1998].

В данной статье анализируются результаты длительных (1978–2015 гг.) наблюдений за линейным ростом оврагов в пределах Вятско-Камского междуречья на территории Удмуртской Республики (УР). Основной акцент сделан на оценку трендов прироста вершин оврагов различных типов в период с 1997 по 2015 гг., тогда как результаты наблюдений предшествующего периода, ранее опубликованные [Рысин, 1998], используются для сопоставления.

Объект и методы исследования. Территория, в пределах которой находятся объекты мониторинговых наблюдений, расположена на востоке Русской равнины в южной части Вятско-Камского междуречья в границах УР. Территория Удмуртии характеризуется распространением ландшафтов южной тайги и подтаежной зоны, сильно преобразованных хозяйственной деятельностью. Длительный континентальный период развития рельефа способствовал образованию трех разновозрастных и разновысотных поверхностей выравнивания. Верхняя ступень или наиболее древняя поверхность располагается на отметках более 250 м, средняя ступень имеет абсолютные отметки 180–200 м, а нижняя 140–160 м. По своему происхождению все они являются денудационными [Дедков с соавт., 1974]. Анализ распределения глубин местных базисов эрозии свидетельствует о резко дифференцированном характере вертикального расчленения территории.

Для Вятско-Камского междуречья характерен умеренно теплый и влажный климат с продолжительной зимой и относительно коротким летом. Среднегодовая температура изменяется от +2,3 °С на севере, до 3,5°С на юге республики. Средние температуры января и июля варьируют в пределах –13,3 – –11,9°С, и 18,3–19,7 °С соответственно. Устойчивый снежный покров держится 155–175 дней. Среднегодовая сумма осадков составляет 500–650 мм.

На 2014 г., согласно официальной статистике, общая площадь сельскохозяйственных угодий в республике составляет 1,8 млн га, в том числе площадь пашни 1,328 млн га, или около 33% от общей площади республики. По отношению к 1960 г., когда площадь пашни была максимальной, за первые 30 лет (1960–1990 гг.) сокращение составило только 5%. С распадом СССР темпы сокращения пашни резко возросли. В период 1990–2003 гг. площадь пашни уменьшилась на 13%. В дальнейшем процесс забрасывания полей по существу остановился (–1% за 2003–2007 гг.). За последние 25 лет произошли незначительные изменения в севооборотах, которые привели к некоторому уменьшению агроэрозионного индекса для периода формирования талого стока и, напротив, его увеличению для периода ливневого стока.

Выбор ключевых участков для изучения темпов отступания вершин активно растущих оврагов осуществлялся на основе детального анализа аэрофотоснимков, полученных на основе съемок 1957–1959 гг. На момент начала мониторинговых наблюдений в 1978 г. овраги находились уже на различных стадиях развития, но на тот момент все продолжали расти. В первые годы наблюдений количество наблюдаемых вершин оврагов составляло 120. В дальнейшем вновь появившиеся на участках наблюдений овраги, а также отвершки оврагов, уже входящих в систему мониторинга, также были включены в сеть наблюдений [Рысин, 1998]. На 2015 г. в систему мониторинга на землях сельскохозяйственного назначения входят 168 вершин оврагов, которые располагаются на 28 ключевых участках в различных ландшафтных зонах Вятско-Камского междуречья (табл. 1, рис. 1). Основной причиной современного роста оврага является сельскохозяйственная деятельность, преимущественно распашка земель.

Определение темпов линейного прироста оврагов производится путем измерения расстояния от вершины оврага до предварительно установленного репера. Точность измерений составляет ±0,01 м. На большинстве участков (117 вершин оврагов) наблюдения проводятся один раз в год (летом), а на девяти ключевых участках (42 оврага) измерения осуществляются дважды: в мае, после снеготаяния и в октябре или начале ноября, после окончания сезона летнее-осенних ливней. В период с 1993 г. по 2000 г. на десяти оврагах, расположенных вблизи г. Ижевска, наряду с сезонными, в летний период проводились регулярные наблюдения после выпадения сильных ливней. На двух участках мониторинг прироста 9 вершин оврагов с 1990 по 1998 гг. осуществлялся эпизодически, через 2–3 года (рис. 1). В остальные годы наблюдения были ежегодными.

Таблица 1

Характеристика ключевых участков

№ п/п	Название ключевого участка	Площадь ключевого участка, км^2	Период наблюдений, годы	Количество оврагов по типам						Всего
				приводо-раздельные	придо-линные	приба-лочные	донные	вершин-ные	поймен-ные	
1	Пужьегурт	18,5	1985–2015	1	5	2	5	2	1	16
2	Старые Быги	2,5	1978–2015	1	–	–	–	–	–	1
3	Селты	1,5	1978–2015	–	5	–	–	–	–	5
4	Большое Волково	8,2	1978–2015	1	–	–	3	1	–	5
5	Степаново	1,8	1978–2015	3	2	–	–	–	–	5
6	Черная – Светлое	3,5	1978–2015	2	–	–	5	–	–	7
7	Фертики	4,6	1993–2015	1	–	–	–	7	–	8
8	Макарово	2,2	1983–2015	–	1	–	–	2	–	3
9	Мещеряки	3,2	1978–2015	–	–	1	–	1	–	2
10	Юськи (Ягул)	2,8	1978–2015	2	–	–	1	–	–	3
11	Забегалово	4,3	1991–2015	2	1	–	–	1	–	4
12	Стар. Мартьяново	1,3	1978–2015	–	1	–	–	–	–	1
13	Докша	1,8	1978–2015	–	6	–	–	–	–	6
14	Поваренки	2,1	1978–2015	2	–	1	–	4	–	7
15	Сидоровы Горы	2,5	1983–2015	3	3	–	–	–	–	6
16	Нижние Юри	1,8	1978–2015	1	–	–	–	1	–	2
17	Курегово	2,4	1978–2015	1	–	5	3	1	–	10
18	Девятово	1,6	1978–2015	1	1	–	–	–	–	2
19	Мазунино	2,8	1978–2015	–	2	3	–	1	–	6
20	Мушак	4,8	1978–2015	5	–	2	–	–	–	7
21	Бажениха	4,5	1978–2015	7	2	–	–	–	–	9
22	Крымская Слудка	3,2	1978–2015	3	–	–	–	2	–	5
23	Русский Куюк	3,6	1978–2015	7	–	–	1	–	–	8
24	Варзи-Ятчи	8,5	1978–2015	1	4	–	5	5	–	15
25	Кулюшево	9,6	1978–2015	3	–	3	–	10	–	16
26	Вятское	2,5	1978–2015	–	–	–	–	5	–	5
27	Варни	1,0	1992–2015	1	–	–	–	–	–	1
28	Муллино	1,5	1992–2015	–	–	1	2	–	–	3
Итого:		108,6	–	48	33	18	25	43	1	168

На каждом участке количество вершин оврагов, за приростом которых проводятся наблюдения, колеблется от 1 до 16. Различаются и площади ключевых участков, они изменяются от 1–2 до 18,5 км^2. На данной площади проводятся дополнительные наблюдения, включающие рекогносцировку территории для выявления новых оврагов или отвершков. В 1996 г. в сеть мониторинга дополнительно вовлечены овраги, расположенные в пределах ключевых участков «Варни» и «Муллино», а ключевой участок «Ягул», где рост оврагов был остановлен в связи с проведением противоэрозионных мероприятий, был заменен на аналогичный в окрестностях с. Юськи (табл. 1).

Все овраги, входящие в сеть мониторинга, разделяются на две группы: первичные и вторичные [Соболев, 1948]. Первичные овраги нами разделены на 3 группы: приводораздельные, к которым от-

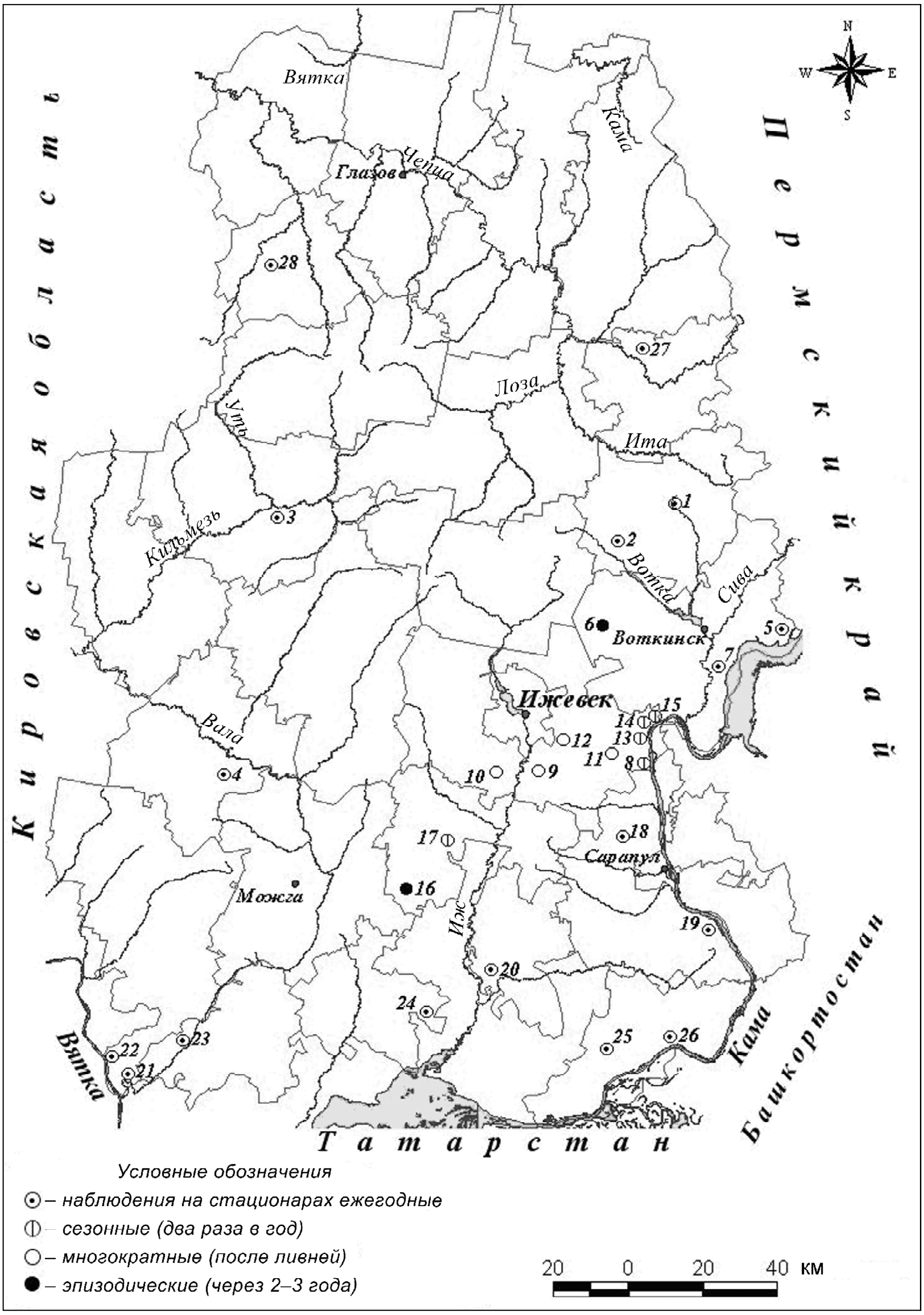

Рис. 1. Расположение ключевых участков по изучению механизма и динамики оврагообразования на территории УР

Fig. 1. Location of key sites for studying the mechanism and dynamics of gully formation within the territory of the Udmurt Republic

несены все овраги, развивающиеся на склонах междуречных пространств, а также прибалочные и придолинные, которые различаются по месту своего развития на бортах балок и речных долин соответственно. К вторичным отнесены донные и вершинные овраги. Среди наблюдаемых оврагов преобладают первичные (58,9%), среди которых чуть меньше половины приводораздельные. Среди вторичных агрогенных оврагов преобладают вершинные (62,3%).

Результаты и их обсуждение. Обобщенный график среднегодовых темпов линейного прироста агрогенных оврагов получен на основе использования данных по всем оврагам, включенным в систему мониторинга (рис. 2). За весь период наблюдений (1978–2015 гг.) на фоне общего нисходящего тренда отчетливо выделяются 4 пика с максимальными значениями, которые все относятся к первому циклу наблюдений 1978–1996 [Рысин, 1998]: 1979 г. (2,8 м/год), 1990 и 1991 гг. (1,9 и 2,3 м/год) и в 1994 г.

(1,8 м/год). Усиление темпов отступания вершин оврагов в эти годы было обусловлено интенсивностью половодного стока и значительной долей пашни на их водосборах (распашка) [Рысин, 1998]. После 1996 г. среднегодовые темпы отступания вершин оврагов резко уменьшились и только в 1997, 1998 и 2001 гг. превышали значение 0,5 м/год, достигнув минимума в 2008 г. (рис. 2, А). Следует учитывать, что во второй половине 1990-х – начале 2000-х годов происходило наиболее значительное сокращение площади пахотных земель, затронувшее и ряд водосборов на участках наблюдений. Одновременно сказывалось и общее повышение температур воздуха в зимнее время, которое способствовало снижению глубины промерзания почв и, как следствие, уменьшению поверхностного стока в период снеготаяния. Влияние каждого из этих факторов может быть оценено на основе детального анализа метеорологических данных, наблюдений за расходами воды в реках и анализа изменений землепользования на водосборах оврагов, что выходит за рамки данной статьи из-за ограничений по объему.

Анализ полученных данных свидетельствует о большом диапазоне средних темпов линейного роста отдельных оврагов за последние 4 десятилетия. Наибольшие различия наблюдаются среди первичных оврагов, что неудивительно, так как каждый из оврагов данного типа может находиться на разных этапах своего формирования. Среднемноголетние темпы линейного роста по всем первичным оврагам за анализируемый период оказались невысокими – 0,9 м/год [Рысин, Григорьев, 2010]. Для вторичных оврагов столь резкого различия средних темпов отступания вершинных уступов не наблюдается. Среднемноголетние темпы роста вторичных оврагов несколько больше (1,1 м/год), чем у первичных, и в пределах Вятско-Камского междуречья они растут более равномерно.

Какой-либо пространственной дифференциации среднемноголетних темпов отступания вершинных уступов оврагов по различным участкам не наблюдается. Обычно не-

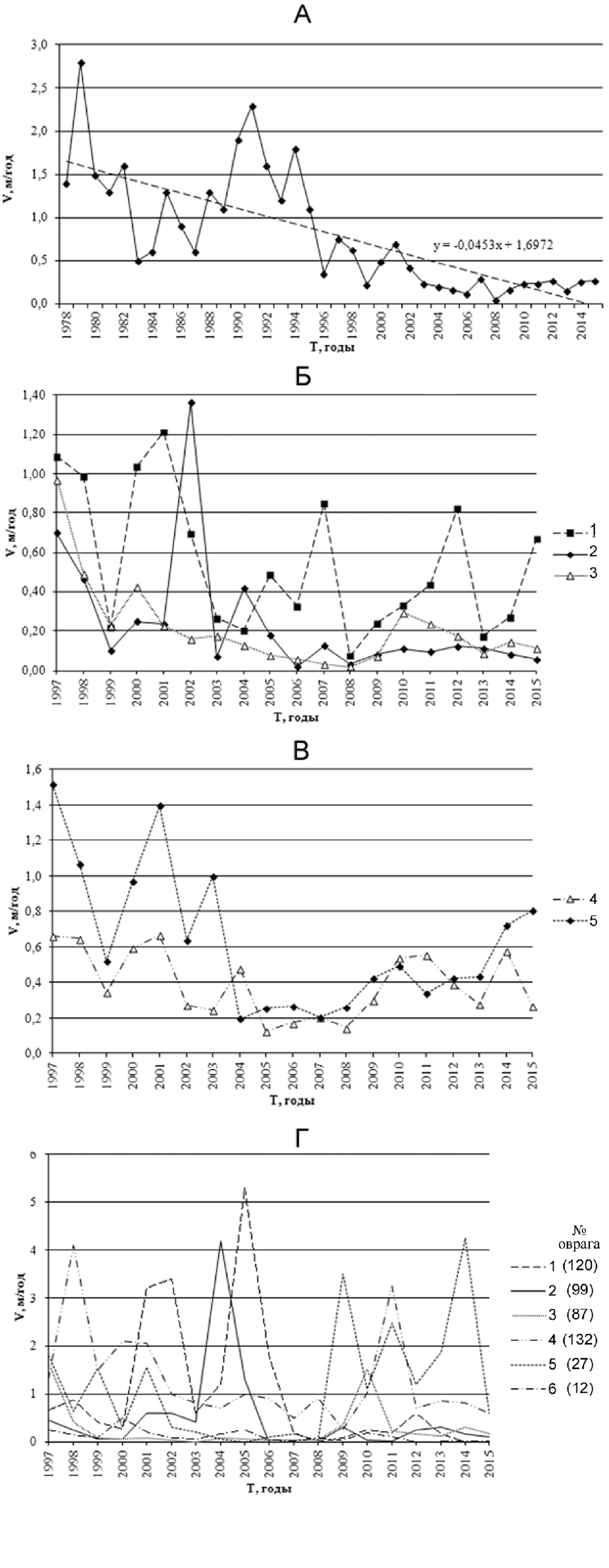

Рис. 2. Графики роста оврагов на территории Удмуртской Республики за разный период: А – агрогенные овраги, Б – первичные овраги, В – вторичные овраги, Г – отдельные типичные овраги (типы оврагов: 1 – приводораздельный, 2 – придолинный, 3 – прибалочный, 4 – вершинный, 5 – донный, 6 – пойменный)

Fig. 2. Gully head retreat rates in the Udmurt Republic for different periods: A – agrogenic gullies, Б – initial gullies, B – secondary gullies, Г – individual typical gullies (types of gullies: 1 – slope, type I, 2 – slope, II, 3 – bank, 4 – head–water, 5 – bottom, 6 – floodplain)

Таблица 2

Статистические характеристики среднегодовых темпов прироста оврагов различных типов за период 1997–2015 гг. (без учета оврагов, прекративших рост с 2006 г.)

Тип оврагов	n	x_m	x_{max}	x_{min}	A_s	C_v
		м/год				
Вершинный	29	0,39	3,08	0 (21%)	4,87	1,56
Донный	21	0,62	13,8	0 (19%)	1,41	0,83
Приводораздельный	29	0,55	9,9	0 (26%)	6,93	2,65
Придолинный	17	0,25	18,8	0 (30%)	3,46	0,86
Прибалочный	15	0,22	2,6	0 (27%)	0,57	0,66

Примечание. n – число растущих оврагов за период 1997–2015; x_m, x_{max} x_{min} – среднегодовые, максимальные и минимальные темпы прироста (в скобках доля случаев (в процентах) с нулевым приростом оврага за конкретный год); A_s – коэффициент асимметрии; C_v – коэффициент вариации.

большие в пределах Вятско-Камского междуречья темпы прироста оврагов в длину соседствуют со значительными. В целом отчетливо наблюдается тенденция уменьшения темпов линейного прироста оврагов, что отражено в полученном методом наименьших квадратов уравнении линейного тренда для всех ключевых участков (рис. 2, А).

При более детальном рассмотрении изменений среднегодовых темпов линейного роста оврагов в пределах исследуемой территории за период с 1997 г. выясняется, что, несмотря на общий понижающий тренд (рис. 2, А), выделяются 2 периода: 1997–2003 и 2003–2015 гг. Если для первого периода на фоне отчетливой тенденции к сокращению темпов линейного роста оврагов, наблюдается их вариабельность по отдельным годам, находящаяся в интервале 0,2–0,75 м/год, то после 2003 г. по существу произошла стабилизация среднегодовых темпов на очень низком уровне (0,1–0,3 м/год). Тем самым, этот период кардинально отличается в целом от предшествующего этапа мониторинга (1978–1997 гг.), когда среднегодовые темпы линейного роста оврагов в среднем для Вятско-Камского междуречья варьировали по годам более чем в 5 раз – от 2,75 до 0,5 м/год (рис. 2, А). После 2003 г. в республике Удмуртия уже не происходило сокращения площади пашни и стабилизировались используемые севообороты. Можно предположить, что данная стабилизация темпов прироста на низком уровне обусловлена практически полным отсутствием или крайне низкими значениями поверхностного стока со склонов в период снеготаяния в этот период. В предшествующие годы наблюдений (1978–2002 гг.) именно различия в объемах и интенсивности весеннего стока со склонов приводили к значительной межгодовой вариабельности среднегодовых темпов линейного роста оврагов. Для проверки справедливости данного предположения необходимо провести детальный анализ гидрометеорологических условий формирования стока.

Обобщенные статистические характеристики среднемноголетних темпов роста оврагов различного типа за 19 лет (1997–2015 гг.) приведены в табл. 2, а их межгодовые изменения для вторичных и первичных оврагов представлены на рис. 2, Б и В соответственно. Следует отметить, что если в период 1997–2003 гг. в целом для оврагов был характерен отчетливый тренд уменьшения темпов линейного прироста, то в дальнейшем, на фоне относительной стабилизации, динамика роста оврагов различного типа по годам несколько отличалась (рис. 2, Б, В).

Среди вторичных оврагов наибольший суммарный прирост за 19 лет проведения мониторинга, составивший в среднем 11 м, достигнут у донных оврагов. При этом средние темпы роста донных оврагов за период 1997–2015 гг. сократились по сравнению с предыдущим периодом (1978–1996 гг.) почти в 3 раза и составили 0,57 м/год. Наиболее существенный прирост донных оврагов отмечался в 1997 г. и составил 1,4 м/год (рис. 2, В). Из всех исследуемых донных оврагов только 4 оврага не имели признаков роста в последние 10 лет, а остальные донные овраги характеризуются минимальным числом случаев с отсутствием годового прироста среди всех типов оврагов (табл. 2). Более значительные темпы прироста донных оврагов позволяют предположить, что, несмотря на резкое сокращение или почти полное исчезновение поверхностного стока со склонов, в днищах сухих долин, где формируются донные врезы, в период снеготаяния происходит выклинивание внутрипочвенного стока. Именно он в основном формирует временные водотоки, способствующие постепенному регрессивному отступанию вершин донных оврагов. Следует отметить, что после 2008 г. отмечается хорошо выраженный положительный тренд прироста вершин донных оврагов (рис. 2, В), с явной тенденцией к росту, если исходить из среднегодовых темпов в 2014–2015 гг. Гораздо слабее аналогичный тренд выявляется для этого же периода у вершинных оврагов.

Вершинные овраги отличаются от донных большей неравномерностью прироста – наряду с активно растущими оврагами, значительная их часть (~32%) практически не развиваются. В результате за период 1997–2015 гг. средние темпы линейного роста вершинных оврагов составили 0,31 м/год, что более чем в 3 раза меньше, чем в период 1978–2015 (1,12 м/год). Без учета оврагов, прекративших свой рост в последние 10 лет, среднегодовые темпы прироста составили 0,39 м/год. Наиболее активный рост оврагов был отмечен в 2001 г. (1,0 м/год). Второй и третий пики активности приходятся на 1997 (0,52 м/год) и 1998 (0,48 м/год) годы (рис. 2, В). Сильная неравномерность линейного прироста вершинных оврагов как по площади, так по отдельным годам позволяет предположить, что как минимум с 2003 г. в основном рост оврагов в длину был обусловлен формированием ливневого стока.

Очень низкие темпы прироста характерны для единственного оврага пойменного типа (рис. 1, участок № 1). Если за период 1978–1996 гг. темпы линейного прироста вершины составляли 2,1 м/год, то за последние 19 лет они уменьшились до 0,11 м/год. При этом с 2012 г. овраг перестал расти (рис. 2, Г).

Среди первичных оврагов наиболее активными являются приводораздельные, средние темпы прироста которых составили за период 1997–2015 гг. 0,31 м/год, что, примерно в 5,5 раз меньше, чем за предшествующий период наблюдений 1978–1996 гг. (1,69 м/год) и почти вдвое меньше, чем темпы линейного прироста донных оврагов в период наблюдений 1997–2015 гг. Причем около 40% оврагов данного типа не растут после 2006 г. Более высокие по отношению к береговым (придолинным и прибалочным) оврагам темпы прироста приводораздельных оврагов в основном обусловлены рядом «вспышек» среднегодового прироста, которые пришлись на 2007, 2012 и 2015 гг. (рис. 2, Б). В свою очередь, увеличение среднегодовых темпов прироста связано с относительно высокой активностью роста отдельных оврагов. Максимальный годовой прирост по всем оврагам был отмечен в 1997 г. (0,72 м).

Темпы линейного прироста прибалочных и придолинных оврагов находятся на примерно одинаково низком уровне и составляют за период 1997–2015 гг. 0,22 и 0,16 м/год соответственно, что более чем в 4 раза меньше их средней скорости за период 1978–1996 гг. (0,92 и 0,69 м/год). Причем придолинные овраги показывают стабильно минимальные темпы прироста, начиная с 2003 г., тогда как для прибалочных оврагов отмечается небольшой всплеск темпов прироста в 2011–2012 гг. (рис. 2, В). Различие между ними состоит в том, что почти половина (48%) придолинных оврагов прекратили свой рост после 2006 г., тогда как среди прибалочных таковых только 2 из 17 наблюдаемых оврагов. В целом, выявленные тенденции динамики прироста первичных оврагов, позволяют предполагать, что после 2003 г. поверхностный сток со склонов в период снеготаяния ничтожно мал, а некоторое усиление темпов прироста отдельных оврагов в длину обусловлено формированием ливневого стока. Именно поэтому среди первичных оврагов наибольший прирост выявлен для приводораздельных оврагов, вершины которых находятся наиболее близко к пашне и, напротив, более удаленные от пашни придолинные овраги характеризуются минимальными темпами прироста. Соответственно прибалочные овраги занимают промежуточное положение.

Наряду с типом оврагов существенное влияние на темпы линейного прироста оврагов оказывает состав размываемых пород. В зависимости от противоэрозионной устойчивости пород средние темпы линейного прироста оврагов могут различаться в несколько раз (табл. 3). Наибольшие многолетние темпы роста отмечаются у вторичных оврагов, размывающих современные аллювиальные и балочные отложения, представленные переслаивающимися суглинками и суглинисто-супесчаными (реже глинистыми) рыхлыми отложениями. Они находятся в переувлажненном состоянии вследствие близости грунтовых вод и поэтому отличаются слабым сцеплением частиц пород между собой, что способствует их быстрому размыву.

Высокие многолетние темпы роста наблюдаются у первичных оврагов в лессовидных делювиально-солифлюкционных суглинках, отложившихся в перигляциальных условиях плейстоцена [География …, 2003]. Эти породы наименее литофицированы, они быстро размокают и характеризуются наименьшим сопротивлением размыву. Для них характерна еще одна важная особенность – наличие вертикальной столбчатой текстуры, возникающей на обнажениях как при вершине, так и на склонах оврага. Механизм образования столбчатой текстуры лессовидных суглинков еще недостаточно изучен, возможно, он связан с морозобойными трещинами, возникающими на поверхности грунтов в условиях сурового перигляциального климата. Впоследствии эти трещины заполнялись более грубым, менее сцементированным материалом, что и определяет их «скалывание» именно в этих местах. Наличие постоянно «свежих» вертикальных уступов при вершине оврага способствует его быстрому росту даже при незначительном стоке.

Относительно низкие темпы роста оврагов, размывающих перигляциальный аллювий на левобережье р. Вятка у с. Крымская Слудка, объясняются легко, если учесть, что большая их часть находится на последних стадиях развития. Средние многолетние темпы прироста оврагов здесь за весь период наблюдений составляют всего 0,51 м/год (табл. 3). Медленнее всего растут овраги, размывающие коренные пермские глины (0,41 м/год), особенно в случае переслаивания их с песчаниками, аргиллитами, известняками и другими прочными породами (0,39 м/год).

Сравнение темпов линейного прироста оврагов за периоды 1978–1996 и 1997–2015 гг. для оврагов, развивающихся в разных по литологии отложениях, выявляет интересные закономерности. Наибольшее сокращение отмечается для пойменных голоценовых отложений, что однозначно связано с переходом оврага от стадии бурного роста к стадии относительной стабилизации. Напротив, минимальное сокращение темпов выявлено для оврагов, развивающихся на перигляциальном супесчано-суглинистом аллювии, что подтверждает ранее высказанное суждение о нахождении данных оврагов на завершающей стадии развития. Наиболее показательным является значительное сокращение темпов линейного прироста оврагов, заложившихся на делювиально-солифлюкционных суглинках, что однозначно указывает на то, что литологический фактор по существу не влияет на динамику линейного прироста оврагов, развивающихся на конкретных отложениях. Гораздо важнее влияние других факторов, и, прежде всего, гидрометеорологического и фактора землепользования.

Таблица 3

Средние многолетние скорости роста оврагов Вятско-Камского междуречья, развивающиеся в различных литологических комплексах пород (м/год)

Литологические комплексы пород	Количество оврагов	1978–1996 гг.	1997–2015 гг.	Сокращение темпов	1978–2015 гг.
Верхнепермские глинистые породы и их элювий	34	0,67	0,21	3,2	0,41
Верхнепермские глины с прослоями более прочных пород (известняков, мергелей, аргиллитов, песчаников и т. п.)	40	0,58	0,21	2,7	0,39
Делювиально-солифлюкционные суглинки плейстоценового возраста	52	1,92	0,30	6,4	1,02
Перигляциальный супесчано-суглинистый аллювий плейстоценового возраста	14	0,65	0,38	1,7	0,51
Голоценовый аллювий преимущественно суглинистого состава	1	2,1	0,11	19	0,88
Балочный аллювий суглинисто-глинистого состава	27	2,15	0,55	3,9	1,28

Выводы:

– результаты мониторинга линейного прироста оврагов Вятско-Камского междуречья в период 1997–2015 гг. свидетельствуют о продолжении ранее выявленной тенденции сокращения темпов прироста оврагов различного типа до 2003 г. с последующей стабилизацией на предельно низком уровне 0,2–0,3 м/год вплоть до 2015 г. (рис. 2, Б, В);

– выявлены определенные различия в линейном приросте оврагов различного типа. Наибольшие темпы прироста с отчетливым положительным трендом после 2008 г. характерны для донных оврагов (рис. 2, В). В меньшей степени аналогичный тренд проявляется и для вершинных оврагов. При этом именно донные овраги отличаются относительно равномерным приростом (табл. 2), тогда как для вершинных оврагов характерен большой разброс в темпах прироста, от полного его отсутствия до сравнительно высоких темпов прироста у отдельных оврагов в конкретные годы (табл. 2, рис. 2, Г);

– темпы линейного прироста первичных оврагов различного типа в период 1997–2015 в 2–3,5 раза меньше, чем у донных, с отчетливым убыванием среднемноголетних темпов по мере удаления вершин от пашни: приводораздельные (0,31 м/год); прибалочные (0,22 м/год) и придолинные (0,16 м/год). Литология пород, слагающих вершинные уступы оврагов, не сказывается на динамике линейного прироста оврагов каждого из выделенных типов;

– учитывая, что в период 1997–2015 гг. происходили как климатические изменения, связанные с потеплением климата, особенно повышение температуры воздуха в зимние месяцы, так и сокращения площади пашни, максимум которого пришелся на период 1990–2003 гг., можно утверждать, что именно данные факторы сказались на общем уменьшении темпов прироста оврагов;

– необходим детальный анализ гидрометеорологических параметров и изменений условий землепользования на водосборах оврагов, включенных в сеть мониторинга, для количественной оценки вклада каждого из этих факторов, а также их составляющих, в динамику линейного прироста оврагов различного типа.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РНФ №15–17–20006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Болысов С.И. Факторы и скорости современной регрессивной эрозии на юго-западе Подмосковья (бассейн р. Протвы) // Эрозионные и карстовые процессы на территории Центра Русской равнины. М., 1987. С. 48–55.

Бутаков Г.П. Плейстоценовый перигляциал на востоке Русской равнины. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1986. 144 с.

География овражной эрозии / Под ред. Е.Ф. Зориной. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 324 с.

Григорьев И.И., Рысин И.И. Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии с применением ГИС технологий // Вестник Удмуртского ун-та. Биология. Науки о Земле, 2008. Вып. 1. С. 49–58.

Дедков А.П., Малышева О.Н., Порман С.В., Рождественский А.Д. Древние поверхности выравнивания и останцовый рельеф Удмуртии // Развитие склонов и выравнивание рельефа. Казань, 1974. С. 64–76.

Керн Э.Э. Овраги, их закрепление, облесение и запруживание. М., 1894. 141 с.

Козменко А.С. Борьба с эрозией почв. М.: Сельхозгиз, 1954. 229 с.

Коротина Н.М. Скорость роста оврагов в Ульяновском Поволжье // Геоморфология. 1981. № 4. С. 78–83.

Косов Б.Ф. Динамика овражной сети при освоении бывших лесных площадей на юге Нечерноземья // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. Вып. 8. С. 67–79.

Косов Б.Ф. Проблема оценки и прогноза интенсивности овражной эрозии и роста оврагов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. 1971. № 1. С. 37–44.

Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П., Добровольская Н.Г. Современная динамика земледельческой эрозии в России // Эрозия почв и русловые процессы. 2012. Т. 18. С. 6–24.

Масальский В.И. Овраги черноземной полосы России, их распространение, развитие и деятельность. СПб., 1897. 252 с.

Миронова Е.А., Сетунская Л.Е. Некоторые результаты изучения интенсивности роста оврагов на Приволжской возвышенности // Геоморфология. 1974. № 3. С. 74–82.

Назаров Н.Н. Овражная эрозия в Прикамье. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1992. 103 с.

Овражная эрозия / Под ред. Р.С. Чалова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 168 с.

Овражная эрозия востока Русской равнины / Под ред. А.П. Дедкова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. 142 с.

Проничева М.В. О скоростях роста оврагов Среднерусской возвышенности // Тр. ИГАН СССР. Мат-лы по геоморфологии и палеогеографии. 1955. Т. 65. Вып. 14. С. 87–111.

Рожков А.Г. Борьба с оврагами. М.: Колос, 1981. 199 с.

Рысин И.И., Григорьев И.И. Влияние гидрометеорологических факторов на рост оврагов в Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2010. Вып. 4. С. 137–146.

Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1998. 274 с.

Рысин И.И. О современном тренде овражной эрозии в Удмуртии // Геоморфология. 1998. № 3. С. 92–101.

Скоморохов А.И. Скорость роста оврагов // Геоморфология. 1981. № 1. С. 97–103.

Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т. 1. 305 с.

Bork H.-R., Bork H., Dalchow C., Faust B., Piorr H.-P., Schatz T. (Eds.). Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa – Wirkungen des Menschen auf Landschaften. Klett–Perthes, Gotha, 1998. 328 p.

Dotterweich M. The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of Central Europe: deciphering the long term interaction between human and the environment – a review // Geomorphology. 2008. V. 101. P. 192–208.

Golosov V., Panin A. Century–scale stream network dynamics in the Russian Plain in response to climate and land use change // Catena. 2006. V. 66. P. 74–92.

Ionita I. Gully development in the Moldavian Plateau of Romania // Catena. 2006. V. 68. P. 133–140.

Notebaert B., Verstraeten G. Sensitivity of West and Central European river systems to environmental changes during the Holocene: a review // Earth-Science Reviews. 2010. V. 103 (3–4). P. 163–182.

Nyssen J., Poesen J., Moeyersons J., Deckers J., Haile M., Lang A. Human impact on the environment in the Ethiopian and Eritrean highlands–a state of the art // EarthScience Reviews. 2004. V. 64(3–4). P. 273–320.

Trimble S.W. Man-induced Soil Erosion on Southern Piedmont // Soil Conservation Society of America, USA, 1974. 180 p.

Verstraeten G., Rommens T., Peeters I., Poesen J., Govers G., Lang A. A temporarily changing Holocene sediment budget for a loess-covered catchment (central Belgium) // Geomorphology. 2009. V. 108. P. 24–34.

Поступила в редакцию 10.12.2015
Принята к публикации 27.09.2016

I.I. Rysin[1], I.I. Grigoriev[2], M.Yu. Zaitseva[3], V.N. Golosov[4]

DYNAMICS OF THE LINEAR RETREAT OF GULLY HEADS WITHIN THE VYATKA-KAMA INTERFLUVE AT THE TURN OF 20TH CENTURY

The results of monitoring of the linear retreat of gully heads within the Udmurt Republic during 1978–2015 are discussed. Regular monitoring covered the heads of 168 gullies. All of them are located within the agriculturally developed parts of the Vyatka–Kama interfluve. The main attention is given to evaluation of the gully head dynamics during 1997–2015, when principal climate and land–use changes took place. It was found that the rates of gully head retreat gradually decreased during 1997–2003 and then stabilized at an extremely low level (0,2–0,3 m yr^{-1}). Therefore during 1997–2015 the mean annual gully head retreat rate reduced 3 to 5 times for different type of gullies as compared with the previous time period (1978–1997). The rates of head retreat were somehow different for slope and bottom gullies. Mean bottom gully head retreat is 0,55 m yr^{-1} while it is 0,31 m yr^{-1}, 0,22 m yr^{-1} and 0,16 m yr^{-1} for different sub-types of slope gullies. Furthermore, a positive trend of bottom gully head retreat since 2008 was revealed, so in 2015 the gully head retreat rate reached 0.8 m yr^{-1}. Lithological features have no considerable influence on the gully head linear retreat rate.

Key words: gully head retreat rate, bottom and slope gullies, land use and climate changes, Udmurt Republic.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project No 15–17–20006).

[1] Kazan Federal University, Institute of Environmental Sciences, Leading Scientific Researcher; Udmurt State University, Institute of Natural Sciences, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail*: rysin.iwan@yandex.ru

[2] Udmurt State University, Institute of Natural Sciences, Senior Lacturer; *e-mail*: ivangrig@yandex.ru

[3] Udmurt State University, Institute of Natural Sciences, post-graduate student; *e-mail*: zaytseva_geo@mail.ru

[4] Kazan Federal University, Institute of Environmental Sciences; Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Leading Scientific Researcher; *e-mail*: gollossov@gmail.com

REFERENCES

Bolysov S.I. Faktory i skorosti sovremennoi regressivnoi erozii na yugo-zapade Podmoskoviya (bassein r. Protvy) [Factors and rates of contemporary gully erosion on south-west of the Moscow Region (Protva watershed)] // Erozionnye i karstovye processy na territorii centra Russkoi ravniny. Moscow, 1987. P. 48–55 (in Russian).

Bork H.-R., Bork H., Dalchow C., Faust B., Piorr H.-P., Schatz T. (*Eds.*). Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa – Wirkungen des Menschen auf Landschaften. Klett–Perthes, Gotha, 1998. 328 p.

Butakov G.P. Pleistocenovy periglacial na vostoke Russkoi ravniny [Pleistocene periglacial on Russian plain east]. Kazan', Izdatel'stvo Kazanskogo Universiteta, 1986. 144 p. (in Russian).

Dedkov A.P., Malysheva O.N., Porman S.V., Rozhdestvensky A.D. Drevnie poverkhnosti vyravnivaniya i ostancovyi rel'ef Udmurtii [Ancient planation surfaces and relict relief of Udmurt Republic] // Razvitie sklonov i vyravnivanie rel'efa. Kazan, 1974. P. 64–76 (in Russian).

Dotterweich M. The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of Central Europe: deciphering the long term interaction between human and the environment – a review // Geomorphology. 2008. V. 101. P. 192–208.

Geographiya ovraznoi erozii [Geography of gully erosion] / E.F. Zorina (ed.), Moscow, Izdatel'stvo MGU, 2006. 324 p. (in Russian).

Golosov V., Panin A. Century–scale stream network dynamics in the Russian Plain in response to climate and land use change // Catena. 2006. V. 66. P. 74–92.

Grigoriev I.I., Rysin I.I. Issledovaniya tekhnogennykh i selskokhozyastvennykh ovragov v Udmurtii s primeneniem GIS tekhnologii [Study of technogenic and agricultural gullies in Udmurt Republic with application of GIS technology] // Vestnik Udmurtskogo Universiteta. V. 1. Biologiya. Nauki o Zemle, 2008. P. 49–58 (in Russian).

Ionita I. Gully development in the Moldavian Plateau of Romania // Catena. 2006. V. 68. P. 133–140.

Kern E.E. Ovragi, ikh zakreplenie, oblesenie i zapruzhivanie [Gullies, their consolidation, afforestation and damming]. Moscow, 1894. 141 p. (in Russian).

Korotina N.M. Skorost' rosta ovragov v Ulianovskom Povolzhe [Growth rate of gullies in the Ulyanovsk Volga region] // Geomorphologiya, 1981. N 4. P. 78–83 (in Russian).

Kosov B.F. Dinamika ovraznoi seti pri osvoenii byvshikh lesnych ploschadei na yuge Nechernozemia [Dynamic of gully net after cultivation former forested areas on the south of Non-chernozem zone] // Erosiya pochv i ruslovye processy. Izdatel'stvo MGU. V. 8, 1981. P. 67–79 (in Russian).

Kosov B.F. Problema ocenki i prognosa intensivnosti ovraznoi erozii i rosta ovragov [Problem of assessment and prognosis of gully erosion and growth of gullies] // Vestnik MGU, seriya 5, geographiya. 1971. N 1. P. 37–44 (in Russian).

Kozmenko A.S. Bor'ba s eroziei pochv [Soil erosion control]. Moscow, Selkhozgiz, 1954. 229 p. (in Russian).

Litvin L.F., Kiryukhina Z.P., Dobrovolskaya N.G. Sovremennaya dinamika zemledelcheskoi erozii v Rossii [Contemporary dynamic of agricultural erosion in Russia] // Erosiya pochv i ruslovye processy. V. 18, 2012. P. 6–24 (in Russian).

Masalsky V.I. Ovragi chernozemnoi polosy Rossii, ikh rasprostranenie i deyatelnost' [Gullies of Russian Chernozem zone, their distribution, growing and activity]. St. Petersburg, 1897. 252 p. (in Russian).

Mironova E.A., Setunskaya L.E. Nekotorye resul'taty izucheniya intensivnosti rosta ovragov na Privolzhskoi vozvyshennosti [Some results of gully head retreat study on Privolzskaya upland // Geomorphologiya, 1974. N 3. P. 74–82 (in Russian).

Nazarov N.N. Ovraznaya eroziya v Prikamie [Gully erosion in Prikamie]. Izdatel'stvo Permskogo Universiteta, 1992. 103 p. (in Russian).

Notebaert B., Verstraeten G. Sensitivity of West and Central European river systems to environmental changes during the Holocene: a review // Earth-Science Reviews. 2010. V. 103 (3–4). P. 163–182.

Nyssen J., Poesen J., Moeyersons J., Deckers J., Haile M., Lang A. Human impact on the environment in the Ethiopian and Eritrean highlands–a state of the art // EarthScience Reviews. 2004. V. 64(3–4). P. 273–320.

Ovraznaya eroziya [Gully erosion] // R.S. Chalov (ed)., Moscow, Izdatel'stvo MGU, 1989. 168 p. (in Russian).

Ovraznaya eroziya vostoka Russkoi ravniny [Gully erosion on the East of Russian Plain] // A.P. Dedkov (ed.), Kazan', Izdatel'stvo Kazanskogo Universiteta, 1990. 142 p. (in Russian).

Pronicheva M.V. O skopostyakh rosta ovragov Srednerusskoi vozvyshennosti [About gully erosion rates within Srednerusskaya Upland] // Trudy IGAN SSSR Materialy po geomorphologii i paleogeographii, V. 65, 1955. N 14. P. 87–111 (in Russian).

Rozkov A.G. Bor'ba s ovragami [Struggle with gullies]. Kolos, Moscow, 1981. 199 p. (in Russian).

Rysin I.I., Grigoriev I.I. Vliyanie gidrometeorologicheskikh faktorov na rost ovragov v Udmurtii [Influence of hydrometeorological factors on gully retreat in Udmurt Republic] // Vestnik Udmurtskogo Universiteta, seriya biologiya. Nauki o Zemle, 2010, V. 4. P. 137–146 (in Russian).

Rysin I.I. Ovraznaya eroziya v Udmurtii [Gully erosion in Udmurt Republic]. Izhevsk, Izdatel'stvo Udmurtskogo Universiteta, 1998. 274 p. (in Russian).

Rysin I.I. O sovremennom trende ovrazhnoi eroszii v Udmurtii [About contemporary trend of gully erosion in Udmurt Republic] // Geomorphologiya, 1998. N 3. P. 92–101 (in Russian).

Skomorokhov A.I. Skorost' rosta ovragov [Gully growth rate] // Geomorphologiya, 1981. N 1. P. 97–103 (in Russian).

Sobolev S.S. Razvitie erozionnykh processov na territorii evropeiskoi chasti SSSR i bor'ba s nimi [Erosion processes development on territory of the European part of USSR and their control]. Izdatel'stvo AN SSSR V. 1, 1948. 305 p. (in Russian).

Trimble S.W. Man-induced Soil Erosion on Southern Piedmont // Soil Conservation Society of America, USA, 1974. 180 p.

Verstraeten G., Rommens T., Peeters I., Poesen J., Govers G., Lang A. A temporarily changing Holocene sediment budget for a loess-covered catchment (central Belgium) // Geomorphology. 2009. V. 108. P. 24–34.

Received 10.12.2015
Accepted 27.09.2016